

REMARKS

Applicants thank the Examiner for the thorough consideration given the present application. Claims 1 and 3-5 are currently being prosecuted. The Examiner is respectfully requested to reconsider his rejections in view of the remarks as set forth below.

Entry of Amendment

Since the present response includes only remarks, Applicants submit that entry of the response and full consideration thereof is considered proper.

Rejection under 35 U.S.C. 103

Claims 1 and 3-5 stand rejected under 35 U.S.C. 103 as being obvious over Kurosawa et al. (U.S. Patent 5,698,120) in view of Jurca (U.S. Patent 5,272,312). This rejection is respectfully traversed.

The Examiner states that Kurosawa et al. shows a method of selection of a given field of observation in the region of the interaction zone between a laser beam and a work piece, detection of the radiation coming from the selected field with a radiation sensitive receiver which delivers an electrical signal corresponding to the detected radiation, filtering of the electrical signal and evaluation of the filtered electrical signal. The Examiner admits that Kurosawa does not show the use of a stop arranged in front of the radiation sensitive receiver.

The Examiner relies on Jurca to show that it is known to provide a stop arranged in front of a radiation sensitive receiver for a laser welding apparatus. The Examiner feels it would have been obvious to combine the device of Kurosawa et al. with the stop of Jurca to provide an increase in the efficiency of laser material processing.

In response to Applicants' earlier remarks, the Examiner disagrees with Applicants' position that it would not be obvious to provide the projecting of an interaction zone onto a stop arranged in front of the receiver. The Examiner relies on the statement in Jurca at column 4, lines 13-17 that the optical axis of the detector

head is directed to a space above the operating spot 4. With the aid of the shiftable aperture 14, the optical signal can be controlled so that the welding pool 4 is projected on the detector 8. The Examiner feels that this teaching shows that the aperture receives the projection from the welding pool and gives the detector a field of observation in the region of the welding pool.

Applicants disagree with the Examiner's understanding of the Jurca reference. Applicants submit that the specification in Jurca is faulty due to an erroneous translation from the original German application. The Examiner has correctly quoted the statement in column 4, lines 15-17. However, this line reads exactly the opposite in the German application. In German reference DE 39 08 187, it is said that the optical signal detector 8 can be controlled so that the welding pool 4 is not projected on the IR-sensitive detector 8. Applicants are submitting herewith a copy of the German specification (without drawings) for the Examiner's convenience. The Examiner is invited to note the sentence at column 4, lines 50-52 which says

"Mit Hilfe der verschiebbaren Blende 14 wird verhindert, daß der Schweißherd auf den Detektor 8 abgebildet wird".

With aid of the shiftable aperture 14 is it prevented that the welding pool is projected on the detector 8.

Thus, the translation of the German is clearly completely different from that in the U.S. application.

Since the purpose of the Jurca invention is to detect the near-infrared radiation of the material which is thrown out of the "keyhole" during the material processing operation, it is completely clear to one skilled in the art that it is not the purpose of the shiftable aperture or stop 14 to help the welding pool to be projected onto the detector, since this would cause a severe reduction of the sensitivity of the detector for infrared radiation of the material thrown out of the keyhole, that is out of the welding pool.

In connection with Figure 1, the U.S. Patent describes at column 3, line 66 to column 4, line 7 that the welding processing spot 4 is projected on a photodetector 8 through a focusing lens 10 and an optical band pass filter 9. As seen from the drawings, the aperture 14 is formed as a setting screw which is mounted eccentrically with regard to the detector head. Thus, one skilled in the art can see that the aperture or stop 14 can be used only to prevent light from the welding pool or the interaction zone from reaching the detector so as to improve the sensitivity of the detector for radiation from the region 3 above the welding pool. Thus, taking into account the entire technical teaching of Jurca, it is clear that the sentence that the Examiner relies on is in contradiction to the remainder of the specification due to this translation error. For these reasons, Applicants submit that Jurca does not teach the use of a stop so that the welding pool is projected on the detector.

Concerning the Kurosawa reference, it is noted that the low-pass filter and the output signal of an optical detector is taught. Figure 10 shows a block diagram of the configuration of the optical sensor detection signal processor 18a. In this processor, the filter circuit 25 is provided for cutting the high frequency peak component of optical sensor output X from the optical sensor 7. As can be seen from Figure 11A showing the output waveform of the sensor and 11B showing the filtered waveform, the high frequency peak component is cut off from the sensor output X. Thus, a low-pass filtering has been performed. In addition, the filter circuit 25 uses a second cutoff frequency to generate a filtered waveform by cutting a low frequency component. The resulting waveform obtained by using the second cutoff frequency is shown in Figure 12B which can be compared to Figure 12A which shows the unfiltered output of the optical sensor. In this case, the filter circuit 25 acts also as a low pass filter but at a different frequency. Thus, Kurosawa explicitly teaches the extraction of only frequency components required for recognizing the laser machining state, that is the rather low frequency components that can be extracted from the sensor output only by low pass filtering. In contrast, the present invention detects the rapid and/or short fault-related changes in the intensity that occurs in a certain region of the laser machining zone. This is achieved by combining the use of high-pass filtering of the output signal of the optical sensor and using a shiftable stop for selecting a certain

field of observation. Thus, there is not only a movement of the stop relative to the optical axis in a plane perpendicular thereto, but also a relative movement between the lens and the stop in the direction of the optical axis as indicated in the drawings by arrows X, Y and Z.

In view of the above, Applicants submit that the combination of the technical teachings of the Kurosawa reference and Jurca reference would not lead to the present invention since Kurosawa fails to disclose the observation of high frequency components in the output signal of the optical sensor and Jurca fails to disclose a stop for selecting a certain field of observation.

Claims 3-5 depend from claim 1 and as such are also considered to be allowable. In addition, each of these claims recite other features which make them additionally allowable.

Conclusion

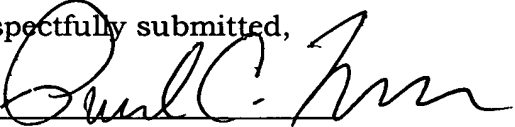
In view of the above remarks, it is believed that the claims clearly distinguish over the patents relied on by the Examiner, either alone or in combination. In view of this, reconsideration of the rejections and allowance of all the claims are respectfully requested.

In view of the above amendment, applicant believes the pending application is in condition for allowance.

Dated: **October 6, 2005**

Respectfully submitted,

By:


Joe McKinney Muncy
for Registration No.: 32,334 #43,368
BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP
8110 Gatehouse Rd
Suite 100 East
P.O. Box 747
Falls Church, Virginia 22040-0747
(703) 205-8000

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3908 187 A 1**

⑤ Int. Cl. 5:
B23 K 26/00

⑳ Aktenzeichen: P 39 08 187.7
㉔ Anmeldetag: 14. 3. 89
㉕ Offenlegungstag: 20. 9. 90

DE 3908 187 A 1

㉚ Anmelder:
Jurca, Marius-Christian, Dipl.-Ing., 6054 Rodgau, DE

㉛ Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Qualitätssicherung beim Laserstrahlschweißen und -schneiden

Verfahren zur on-line Qualitätssicherung bei der Lasermaterialbearbeitung mittels elektro-optischer Erfassung der Nahinfrarotstrahlung des aus dem »Dampfkanal« während der Lasermaterialbearbeitung herausgeschleuderten Materials, wobei die Größe der im Werkstück entstandenen Hohlräume (Poren, Löcher) ermittelt wird. Die Erfassung der Körperstrahlung des herausgeschleuderten Materials erfolgt in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis ca. 1300 nm vorzugsweise mit gleichzeitiger Erfassung der Nah-UV-Strahlung der Plasmawolke in einem bevorzugten Wellenlängenbereich von ca. 200 nm bis ca. 450 nm. Beschrieben wird schließlich auch ein Auswerteverfahren für die Nah-IR-Signale.

DE 3908 187 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätssicherung bei der Lasermaterialbearbeitung, vorzugsweise beim Laserstrahlschweißen oder -schneiden, wobei das aus der Plasmawolke bei der Materialbearbeitung entstandene Ultraviolettlicht in einem Wellenlängenbereich von ca. 200 nm bis ca. 450 nm zwecks einer Überprüfung der Laserstrahleinkopplung sowie der Einhaltung anderer Prozeßparameter, wie Laserausgangsleistung, Strahldelokussierung, Strahlqualität, Schutzgas- und Arbeitsgaszuführung sowie Werkstückzusammensetzung, Reinigungsgrad der Werkstückoberfläche und Schweißspaltbreite mit einem UV-empfindlichen Detektor erfaßt wird.

Bekannte derartige Vorrichtungen verwenden einen lichtempfindlichen Detektor, der aus einer Si-Fotodiode, die eine erhöhte UV-Lichtempfindlichkeit hat, und einem optischen Filter besteht, der ausschließlich für die o.g. UV-Lichtwellenlängen durchlässig ist. Der Filter ist zwischen der Bearbeitungsstelle und dem Detektor räumlich angeordnet. Das aufgenommene UV-Lichtsignal ist vom Detektor in ein elektrisches Signal umgewandelt, das von einer Auswerteinrichtung verarbeitet wird. Mit einer solchen Vorrichtung ist es möglich, Änderungen der o.g. Parameter des Lasermaterialbearbeitungsprozesses während der Bearbeitung zu erkennen und sie als mögliche Bearbeitungsfehler anzumelden.

Diese bekannte Vorrichtung hat den Nachteil, daß es nicht möglich ist, einen Bearbeitungsfehler zu erkennen und anzumelden, sobald während eines Laserschweißprozesses zwei Parameter sich gleichzeitig geändert haben, die entgegengesetzte Auswirkungen auf das Schweißplasma und damit auch auf das aufgenommene UV-Signal haben. Außerdem meldet eine solche Vorrichtung bei einer hohen eingestellten Empfindlichkeit eine zu große Anzahl von Fehlern an, die zwar auf eine Laserschweißprozeß-Parameterstörung zurückzuführen sind, aber zu keinen Schweißnahtfehlern geführt haben.

Zum Stand der Technik sei noch verwiesen auf die DE 35 07 299 A1/Laser und Optoelektronik, Okt. 1988, S. 64-69/DVS-Bericht Nr. 113 über die Tagung "ECLAT'88", S.58-59, sowie auf die Prozeßbeschreibung einer Laserschweißüberwachung vom Typ SKT der Firma Ing.-Büro M. Jurca. Aus diesen Schriften können die oben beschriebenen Nachteile einer Qualitätssicherungseinrichtung, die ausschließlich die UV-Signale der Plasmawolke verarbeitet, entnommen werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art vorzuschlagen, mit deren Hilfe eine Qualitätskontrolle der mit dem Laser hergestellten Schweißnaht während des Schweißvorganges selbst durchgeführt wird und unabhängig davon, welche Änderung eines oder mehrerer Bearbeitungsparameter zu einem Schweißfehler geführt haben.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird vorgeschlagen, die erfindungsgemäße Vorrichtung nach dem kennzeichnenden Teil des Hauptanspruches auszubilden, dies hat den Vorteil, daß die Menge des aus dem Bearbeitungs-herd in Folge der Energiezuführung und des dadurch im "Dampfkanal" entstandenen Dampfdruckes herausgeschleuderten, flüssigen Materials zur Ermittlung der Größe der im Werkstück entstandenen Hohlräume optoelektronisch in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis vorzugsweise 1300 nm durch wenigstens eine Fotodiode erfaßt, in ein elektrisches Signal umge-

setzt und einer Auswerteinrichtung zugeführt wird. Die Schweißfehler lassen sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 2 erfassen und durch eine angeschlossene Auswerteinrichtung nach Anspruch 7 als Bearbeitungsfehler signalisieren.

Der wesentliche Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens nach den Ansprüchen 1 oder 2 besteht darin, daß eine eindeutige Erkennung von tatsächlichen Schweißfehlern möglich ist. Die Eindeutigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens beruht darauf, daß die Größe der aus dem Schweißherd herausgeschleuderten Tropfen der Größe der in der Schweißnaht zurückgelassenen Poren und Löchern entspricht.

Die Vorrichtung nach Anspruch 2 hat den Vorteil, daß damit das Verfahren nach Anspruch 1 praktisch angewandt werden kann. Mit der Vorrichtung nach Anspruch 2 lassen sich in der Schweißnaht sogar tiefliegende Poren zerstörungsfrei erkennen, die während eines Laserschweißprozesses, als bevorzugter Laserstrahlbearbeitungsprozeß entstanden sind. Dadurch wird ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 deutlich: durch die Erfassung der Werkstückposition relativ zum Laserstrahlbearbeitungskopf während des Laserbearbeitungsprozesses läßt sich zuverlässig die Position der erfaßten Schweißfehler auf dem Werkstück nach der Bearbeitung wiederfinden, um sie weiter zu analysieren oder das Werkstück an diesen Stellen nachzubearbeiten. Die o.g. Positionserfassung der augenblicklichen Bearbeitungsstelle auf dem Werkstück während der Lasermaterialbearbeitung läßt sich beispielsweise für ein drehsymmetrisches Werkstück mit einem inkrementalen oder absoluten Drehwinkelgeber, dessen drehbare Welle während der Bearbeitung mit dem Werkstück drehwinkelmäßig gekoppelt ist, realisieren. Weitere Vorteile des Hauptanspruches und der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 2 sowie in Kombination mit den anderen Ansprüchen bestehen darin, daß außer Poren auch Löcher während des Laserstrahlschweißens als bevorzugter Bearbeitungsprozeß erkannt und signalisiert werden. Das führt dazu, daß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren auch gasdichte Schweißnähte hergestellt werden können. Daraus ergeben sich in Verbindung mit der o.g. Positionserfassung des Werkstückes die Vorteile, daß die Herstellung von Schweißnähten mit dem Laserstrahl ohne Aufsicht während einer personallosen Nachtschicht bei einer 100%igen Dokumentation der Produktion erfolgen kann. Die Sicherung der hergestellten Qualität führt zu einem höheren Automatisierungsgrad, zu einem schnelleren, fehlerfreien Materialfluß, d.h. zu einer erheblich gesteigerten Produktivität einer Laserschweißanlage.

Nach dem heutigen Stand der Technik ist das "Finden" von in der Schweißnaht tiefliegenden Poren nur nach dem durchgeführten Schweißprozeß mit Hilfe beispielsweise einer sehr teuren Röntgenkamera oder mit einem Ultraschallmikroskop möglich.

Das erfindungsgemäße Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 7 erhöht außerdem die Wirtschaftlichkeit der Lasermaterialbearbeitung, vorzugsweise beim Laserschweißen und/oder -schneiden, dadurch, daß die hohe Kontrollqualität des erfindungsgemäßen Verfahrens durch die erfindungsgemäßen Vorrichtungen nach den Ansprüchen 2 oder 3 oder 4 oder 5 den hohen materiellen und zeitlichen Aufwand einer nachträglichen Prüfung überflüssig macht.

Die Größe der herausgeschleuderten Tropfen entspricht dem Integral des über den erfindungsgemäßen

Detektor gewonnenen Signals über einen festgelegten Zeitraum. Dadurch ist es möglich, nach Anspruch 7 die Festigkeit einer hergestellten Schweißnaht und/oder das Ausmaß einer einzigen Tropfen-"Eruption" während der Materialbearbeitung zu beurteilen. Die Netzfrequenz-Synchronisierung der Signalverarbeitung nach Anspruch 7 hat den Vorteil, daß dadurch netzfrequenzabhängige Signalstörungen unterdrückt werden. Dies führt dazu, daß die Signalverarbeitung mit gleichbleibend guter Qualität ohne Abgleich an Versorgungsnetzen mit vorzugsweise 50 Hz oder 60 Hz arbeitet.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Nah-IR-Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 5 besteht darin, daß es möglich ist, diese in eine vorhandene UV-Signalüberwachung nachträglich zu integrieren.

Die Vorrichtungen nach Anspruch 2, 3 und 4 sind durch eine leichte Handhabung gekennzeichnet, da nur ein Detektorkopf montiert und justiert werden muß. Da die o.g. Vorrichtungen auch ohne eine Fokussierlinse funktionieren, führt der Verzicht auf eine Linse zu einem weiteren Vorteil in der Handhabung der Vorrichtung, da in diesem Fall die Detektorkopfjustage nicht mehr exakt durchgeführt werden muß — eine ungefähre Ausrichtung des Detektorkopfes ist ausreichend.

Als Ergänzung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann auch das UV-Signal erfaßt werden. Die Kombination der beiden o.g. Verfahren bietet nach Anspruch 4 und 6 die Möglichkeit, eine sichere Aussage über die Qualität einer mit dem Laser hergestellten Schweißnaht on-line dadurch zu treffen, daß die UV-Zusatzinformation eine Synchronisierung des gewonnenen Nah-IR-Signals ermöglicht. Dies geschieht dadurch, daß sobald genügend Energie aus dem Laserstrahl in das zu bearbeitende Werkstück eingekoppelt ist, eine Plasmawolke entsteht, die im Nah-UV-Bereich Licht emittiert. Diese Information gibt die Möglichkeit, den Beginn und das Ende eines Schweißprozesses berührungslos und lasersystemunabhängig, zu ermitteln.

Auf das Schneiden mit dem Laserstrahl lassen sich die genannten Überlegungen mit dem Unterschied übertragen, daß beim Schneiden sowohl der Bereich oberhalb als auch unterhalb der Bearbeitungsstelle nach dem erfindungsgemäßen Verfahren überwacht wird. Vorteilhaft ist die Vorrichtung nach Anspruch 6, womit der Einstechvorgang beim Laserschneiden von Blech durch den oberen Detektor (vgl. Fig. 7) und anschließend der Schneidvorgang hauptsächlich durch den unteren Detektor überwacht wird.

Die beschriebenen Vorteile lassen sich an Laserbearbeitungsanlagen, die vorzugsweise mit CO₂, aber auch mit gepulsten Festkörper-Hochleistungslasern arbeiten, nachvollziehen.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Beschreibungen von bevorzugten Ausführungsbeispielen. Die Darstellungen aus den Zeichnungen lassen sich vielseitig kombinieren, und es ist möglich, diese Kombinationen rückzubeziehen auf den Anspruch 1 oder auf Kombinationen von Ansprüchen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 schematisch die Qualitätssicherung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in einer bevorzugten Anordnung beim Laserstrahlschweißen von Metallen;

Fig. 2 schematisch eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 2;

Fig. 3 schematisch eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 3;

Fig. 4 schematisch eine bevorzugte Ausführungsform

der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 4;

Fig. 5 schematisch eine bevorzugte Schweißanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4;

Fig. 6 schematisch eine bevorzugte Schweißanordnung nach dem Anspruch 5;

Fig. 7 schematisch eine bevorzugte Schweißanordnung nach dem Anspruch 6;

Fig. 8 schematisch eine bevorzugte Ausführung der Auswertung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach dem Anspruch 7,

Eine grobe Betrachtung der möglichen Schweißfehler führt zu deren Einteilung in zwei Gruppen:

1. Schweißfehler, die während der Laserbearbeitung durch zu hohe Verdampfungsraten des zu bearbeitenden Materials oder durch Verunreinigungen verursacht werden (dabei entstehen Löcher, Poren u.ä.),
2. Schweißfehler, wie Risse, die in einer mit dem Laser hergestellten Schweißnaht nach der Bearbeitung während der Materialabkühlung entstehen.

Die beanspruchte Erfindung macht eine zuverlässige on-line Erkennung von Schweißfehlern der o.g. Gruppe 1 möglich.

Bei der Energiezuführung über den Laserstrahl 1 mit Hilfe einer vorzugsweise eingesetzten Fokussierlinse 2 in das Werkstück 3 entsteht in der Bearbeitungsstelle 4 einerseits ins Werkstückinnere ein "Dampfskanal" 6 aus dem sporadisch flüssiges Material in Form von "Material-Spritzern" 15 herausgeschleudert wird, andererseits entsteht oberhalb des "Dampfskanals" eine Plasmawolke 3. Der Schweißprozeß ist auf einen Fotodetektor 8 über eine Abbildungslinse 10 durch einen optischen Bandpaßfilter 9 vorzugsweise vom Typ Farbglass UG 11 abgebildet. Die optischen Komponenten sind in ein zylinderförmiges Gehäuse 7 eingebaut, das in Schweißprozeßrichtung eine "Sonnenblende" 17 aufweist, die das Umgebungslicht vom Detektor 8 fernhält. Die als Stellschraube ausgebildete Blende 14 ist in den Detektorkopf exzentrisch eingebaut worden (vgl. Fig. 1 und 2). Das Signal der Fotodiode 8 wird mit dem Vorverstärker 11 auf einen Pegel gebracht, der eine Signalauswertung mit der Auswerteschaltung 12 möglich macht. Ein in der Auswertung erkannter Schweißfehler ist für Weiterverarbeitungszwecke über eine Interfacebaugruppe 13 ausnutzbar (vorzugsweise zum Aussortieren von fehlerhaft geschweißten Teilen). Die optische Achse des Detektorkopfes 16 ist auf den Raum unmittelbar oberhalb der Bearbeitungsstelle 4 gerichtet. Mit Hilfe der verschiebbaren Blende 14 wird verhindert, daß der Schweißherd auf den Detektor 8 abgebildet wird. Details des Detektorkopfes nach Anspruch 1 und/oder 2 sind in Fig. 2 dargestellt. Eine solche Vorrichtung besteht aus einem lichtempfindlichen Detektor 8, vorzugsweise eine Si-Fotodiode, die vorzugsweise eine erhöhte UV-Lichtempfindlichkeit hat, und einem optischen Filter 9, der ausschließlich für die o.g. Nah-IR-Lichtwellenlängen durchlässig ist. Der Filter 9 ist zwischen der Bearbeitungsstelle 4 und dem Detektor 8 räumlich angeordnet. Das aufgenommene Lichtsignal ist vom Detektor 8 in ein elektrisches Signal umgewandelt, das von einer Auswerteinrichtung 11 + 12 verarbeitet wird. Der elektrische Anschluß an die Fotodiode 8 erfolgt über einen Stecker 21 und ein Anschlußkabel 22. Der Vorverstärker 11 ist vorzugsweise im Detektorkopfgehäuse montiert. In Fig. 3 ist eine bevorzugte Ausführung einer UV-IR-kombinierten Ausführung der Vorrichtung nach

Anspruch 3 dargestellt.

Die Fotodiode 8 ist eine Si-Fotodiode, die sowohl im Nah-IR als auch im Nah-UV eine gute Empfindlichkeit aufweist. Der Filter 29 ist ein Farbglas vom Typ UG 3, das beide o.g. Wellenlängenbereiche durchläßt.

Die Vorrichtung in Fig. 4 kombiniert die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Anspruch 2 mit einem UV-Detektor. Durch die räumliche Trennung der beiden Fotodetektoren 8 (IR) und 18 (UV), durch den Einsatz eines 45°-Violettspiegels 20 in einem gemeinsamen Detektorschutzgehäuse mit "Sonnenblende" 17 sowie durch den Einsatz der verschiebbaren Blende 14 sind sämtliche vorteilhafte Eigenschaften der erfindungsgemäßen Vorrichtungen vereint. In diesem Fall kann auf den Farbfilter vor dem Fotodetektor 8 verzichtet werden, da der Spiegel 20 und die Si-Fotodiode 8 zusammen ein Bandpaßverhalten aufweisen. In Fig. 5 ist eine bevorzugte Schweißanordnung für den Einsatz von erfindungsgemäßen Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 2 bis 4 dargestellt. Für Detektorköpfe nach Anspruch 2 oder 4 kann der Winkel der optischen Achse des Detektors 16 zur Horizontalen 23 einen Wert zwischen 0° und bevorzugt 30° haben. Für Detektorköpfe nach Anspruch 3 muß der Winkel 23 den Wert 0° haben (vgl. Fig. 5). In Fig. 6 ist eine bevorzugte Schweißanordnung für den Einsatz von erfindungsgemäßen Vorrichtungen nach Anspruch 5 dargestellt. Der Nah-IR-Detektorkopf mit der Fotodiode 8 entspricht in bevorzugter Ausführung dem Anspruch 1 oder 2 oder 4. Der UV-Detektorkopf ist ähnlich mit dem Nah-IR-Detektorkopf aufgebaut, enthält jedoch unterschiedliche optische Komponenten (Fotodiode 18, Farb- oder Interferenzfilter 19). In Fig. 7 ist eine bevorzugte Schneidanordnung nach dem Anspruch 6 dargestellt. Die Detektorköpfe entsprechen den Ansprüchen 1, 2, 3 oder 4 und werden bevorzugt in gleicher Ausführung oben und unten eingesetzt (vgl. Fig. 7). In dieser Schneidanordnung kommt der obere Detektor zur Überwachung des Einstechvorganges und der untere zur Überwachung des Schneidprozesses zum Einsatz.

Die Auswertung der Nah-IR-Signale erfolgt in einer bevorzugten Ausführung wie schematisch in Fig. 8 dargestellt. Der Detektorkopf 7 nach Anspruch 2 liefert das Signal einem Vorverstärker 11. Das verstärkte Signal durchläuft ein Hochpaßfilter 24, der den Umgebungslichtpegel unterdrückt. Ein erster Schwellwertschalter 28 vergleicht das Ausgangssignal des Hochpasses 24 mit einer Schwelle 30, wodurch einzelne starke "Eruptionen" 15 aus dem Dampfkanal 6 ausgewertet werden. Die Dauer von "Einzeleruptionen" ist ein Maß für die einzelnen größeren Löcher aus der Schweißnaht. Die Dauer einer solchen "Eruption" ist mit 27 (Stopuhr) gemessen, und die gewonnene Information wird zwecks Fehlerentscheidung in 26 zusammengetragen. Die Festigkeit der hergestellten Schweißnaht wird dadurch überprüft, daß das Signal aus 24 einem Integrator 32 zugeführt wird. Der Integrator ist netzsynchron über 33 und Trafo 34 gesteuert.

Das Ausgangssignal des Integrators 32 ist einem zweiten Schwellwertschalter 28 zugeführt. Eine Überschreitung der Schwelle 31 bedeutet einen Festigkeitsverlust in der Schweißnaht. Die Dauer der Störung ist mit 35 (ähnlich wie 27) gemessen und mit 26 weiterverarbeitet. Das Fehlersignal gelangt anschließend über die Interfaceschaltung 13 zum Schaltungsausgang 25.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Qualitätssicherung beim Laserstrahlschweißen oder -schneiden, wobei das aus der Plasmawolke bei der Materialbearbeitung entstandene Ultraviolettlicht in einem Wellenlängenbereich von ca. 200 nm bis ca. 450 nm zwecks einer Überprüfung der Laserstrahleinkopplung sowie der Einhaltung anderer Prozeßparameter, wie Laserausgangsleistung, Strahldelokussierung, Strahlqualität, Schutzgas- und Arbeitsgaszuführung sowie Werkstückzusammensetzung, Reinigungsgrad der Werkstückoberfläche und Schweißspaltbreite mit einem UV-empfindlichen Detektor erfaßt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Menge des aus dem Bearbeitungsherd in Folge der Energiezuführung und des dadurch im "Dampfkanal" entstandenen Dampfdruckes herausgeschleuderten, flüssigen Materials zur Ermittlung der Größe der im Werkstück entstandenen Hohlräume opto-elektronisch in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis vorzugsweise 1300 nm durch wenigstens eine Fotodiode erfaßt, in ein elektrisches Signal umgesetzt und einer Auswerteinrichtung zugeführt wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Erfassung des herausgeschleuderten Materials mit wenigstens einer Fotodiode durchgeführt wird, die im Wellenlängenbereich von 800 nm bis vorzugsweise 1300 nm empfindlich und in ein Detektorschutzgehäuse eingebaut ist, das eine "Sonnenblende" zum Schutz der genannten Fotodiode gegen störendes Umgebungslicht sowie eine senkrecht zur optischen Achse des Detektorschutzgehäuses verschiebbare Blende hat, mit der eine direkte Sichtverbindung zwischen der Fotodiode und dem Schweißherd verhindert wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, daß das von der Plasmawolke emittierte UV-Licht gleichzeitig mit der Wärmestrahlung der aus der Bearbeitungsstelle herausgeschleuderten "Materialtropfen" von wenigstens einem Silizium-Fotodetektor mit einem zwischen dem Detektor und der Bearbeitungsstelle räumlich angebrachten, UV- und Nah-IR-durchlässigen optischen Filter, beispielsweise vom Typ Farbglasfilter UG 3, erfaßt wird.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, daß das von der Plasmawolke emittierte UV-Licht gleichzeitig mit der Wärmestrahlung der aus der Bearbeitungsstelle herausgeschleuderten "Materialtropfen" mit wenigstens zwei räumlich getrennten Detektoren, die durch eine Kombination von teildurchlässigen Spiegeln beispielsweise vom Typ 45°-Ultraviolettspiegel und optischen Bandpaßfiltern, die die o.g. unterschiedlichen Wellenlängenbereiche durchlassen, erfaßt wird.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 oder 4 dadurch gekennzeichnet, daß die beiden o.g. Detektoren so angebracht werden, daß unterschiedliche Räume auf diese Detektoren derart abgebildet werden, daß der UV-empfindliche Detektor auf die Bearbeitungsstelle und der Nah-Infrarot-Detektor direkt oder über andere optische Übertragungsmittel auf den Raum oberhalb des durch die Laserbearbeitung entstandener "Dampfkanals" in die Richtung, aus der der Laserstrahl auf das zu bearbeitende Werkstück während eines Laserschweißprozesses

ses einwirkt, gerichtet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 oder 4 dadurch gekennzeichnet, daß beim Laserstrahlschneiden die Bearbeitungsstelle auf einen UV-Detektor und die Räume oberhalb bzw. unterhalb der Bearbeitungsstelle, in der Luft, um die optische Achse der Bearbeitung, die an der Bearbeitungsstelle mit der Laserstrahlrichtung gleich ist, auf zwei getrennte Nah-Infrarot-Detektoren abgebildet sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertung der elektrischen Signale der Nah-IR-Fotodioden vorzugsweise durch deren Integration in einem Zeitraum, der ein mehrfaches der verwendeten Netzfrequenzperiode ist, durchgeführt wird und die integrierten Signale einem Schwellwertschalter zugeführt werden.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65